

Diagnostic agronomique des facteurs limitant le rendement du riz pluvial de montagne dans le nord du Vietnam

Olivier Husson¹
Jean-Christophe Castella^{2, 3}
Ha Dinh Tuan⁴
Krishna Naudin¹

¹ Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad)

Programme GEC. TA 74/09
Avenue Agropolis,
F34398 Montpellier cedex 5, France
<olivier.husson@cirad.fr>
<krishna.naudin@cirad.fr>

² Jean-Christophe Castella,
Institut de recherche pour le développement (IRD),

213, rue Lafayette,
75480 Paris cedex 10,
France

<j.castella@ird.fr>

³ International Rice Research Institute (IRRI),
Dapo Box 7777,
Metro Manila,
Philippines

<j.castella@ird.fr>

⁴ Ha Dinh Tuan

Vietnam Agricultural Science Institute (VASI),
Thanh Tri,
Hanoi,
Vietnam

<vacb@netnam.org.vn>

Résumé

Dans les montagnes du nord du Vietnam, le riz pluvial conserve une place importante, mais les rendements obtenus sont extrêmement faibles et variables. L'analyse de la variabilité des rendements obtenus chez les agriculteurs a permis d'identifier les principales contraintes à la production rizicole. Elle a été menée dans un village représentatif de la diversité des conditions biophysiques de la province de Bac Kan. La variabilité des rendements en riz pluvial entre les parcelles est expliquée en premier lieu par le type de végétation précédant la culture de riz et le nombre de saisons culturales consécutives. Au sein de chaque parcelle, la variabilité de la culture est largement expliquée par la structure (porosité, compaction, densité) et, partiellement, par les caractéristiques chimiques et l'activité biologique des sols. Tous ces facteurs sont, à des degrés divers, des indicateurs d'état de la fertilité/dégradation du sol. La régénération de la forêt et du sol est contrainte par l'allongement des périodes de culture lié à une forte pression démographique ainsi que par le pâturage des jachères par les buffles. La dégradation du sol est accentuée par l'érosion qui fait suite à la déforestation et au brûlis sur les terres de pentes. En conséquence, une mauvaise structure du sol, de fortes pertes par ruissellement et un enracinement superficiel du riz sont responsables d'une mauvaise utilisation de l'eau. L'infestation par les mauvaises herbes est, comme partout, une autre contrainte majeure à la riziculture pluviale. Ces deux aspects ont été placés en priorité pour la recherche, ce qui a permis de développer des alternatives à ces systèmes d'abattis-brûlis.

Mots clés : Production végétale ; Ressources naturelles et environnement ; Sols.

Summary

Agronomic diagnosis of factors limiting upland rice yield in mountainous areas of Northern Vietnam

In mountainous areas of northern Vietnam, upland rice remains a crop of major importance, but yields are extremely low and variable. An iterative, multi-scale agronomic diagnosis, based on an analysis of variability in farmers' fields, was conducted in a village selected for being representative of bio-physical conditions in Bac Kan Province. This diagnosis focused on interactions between factors and processes, and aimed at identifying major constraints to rice production in order to develop alternatives to the traditional slash-and-burn systems. Variability between fields in rice yield was explained primarily by slashed forest type (5 classes were identified) and number of years of cultivation. Weed infestation and slope also affect rice growth and yield, especially after a few years of cultivation. Within fields, rice yield variability was largely explained by soil structure (such as porosity, compaction, and bulk density) and partly by soil chemical characteristics in relation to soil biological characteristics. Within fields, rooting depth and weed infestation also partly explain rice growth and yield. All these factors are, at different scales, indicators of soil fertility/degradation status. Forest and soil regeneration is limited by short fallow duration (decreasing in the present context of rapidly increasing population pressure) and by intensive buffalo grazing which leads to soil compaction. Soil degradation is caused by erosion after forests are slashed and burned. As a result, poor soil structure and shallow rooting (limited by physical and chemical soil conditions) lead to very poor water use efficiency, all the more so as frequent dry spells are observed in the area. In addition, weed infestation is a major constraint to upland rice production in these conditions. A

synthetic diagram of major factors and interacting processes explains rice growth and yield in the traditional slash-and-burn systems. The main factors limiting upland rice growth and yield in these traditional systems, as conducted in the study area are: poor water use efficiency, due to high run-off, poor soil structure (compaction, and low porosity), and shallow rooting (due to unfavourable physical and chemical soil characteristics); weeds competition. As a consequence, for improvement of (or design of alternatives to) these systems, research priority should be given to the development of techniques or systems that increase water use efficiency and facilitate weed control. Until soils have been rehabilitated and protected, and weeds controlled, "classical" research on topics such as fertilisers or varieties will bring hardly any improvement in the traditional systems.

Key words: Vegetal Production; Natural Resources and Environment; soil.

La culture du riz pluvial demeure une culture majeure dans les montagnes du nord du Vietnam [1], en général sur des sols ferrallitiques acides et de fortes pentes (20 à 40 degrés) après abattis et brûlis de la forêt. Avec ces systèmes traditionnels extensifs, les rendements sont faibles (1 t/ha en moyenne), extrêmement variables et décroissants. Sous les densités de population actuellement observées dans ces zones, ces systèmes ne sont plus durables [2]. Ils ont été interdits par le gouvernement vietnamien car ils sont considérés comme une cause majeure de déforestation, mais aucune alternative n'a été proposée aux paysans dont la plupart ne peuvent assurer leur autosuffisance alimentaire sans cultiver du riz pluvial sur les pentes [3]. Il est donc important de proposer aux agriculteurs des techniques agronomiques et des systèmes qui soient à la fois simples et durables. Le développement de telles pratiques doit se fonder sur les contraintes et les potentialités du milieu, et prendre en compte les objectifs et les moyens de production (terre, travail et capital) limités des agriculteurs. Cela nécessite une compréhension des processus agronomiques, une identification et une hiérarchisation, à différentes échelles, des facteurs limitant le rendement du riz.

Matériel et méthode

L'étude repose sur une analyse de la variabilité des paramètres de l'élaboration du rendement. La logique sous-jacente à cette approche est qu'une situation cultu-

rale donnée est le résultat d'interactions entre différents facteurs et processus. La variabilité révèle des différences dans l'importance relative des facteurs en interaction et/ou dans l'intensité et la durée des processus.

Le village de Ban Cuon (district de Cho-Don, province de Bac Kan) a été choisi pour sa forte variabilité, regroupant dans un seul village les principales situations biophysiques observées à l'échelle de la province. Le riz pluvial y est cultivé sur de fortes pentes, sur sols ferrallitiques acides, rouges ou jaunes, développés sur schistes (Acrisols pour la classification FAO). À 22° 10' de latitude N et 10° 35' de longitude E, le climat est de type subtropical, avec une saison des pluies chaudes (avril à septembre) et une saison froide et sèche (octobre à mars). La pluviométrie annuelle moyenne y est de 1 800 mm.

En 1998, après une étude des parcelles paysannes du village, 37 champs de riz pluvial ont été choisis et précisément caractérisés. Les pratiques culturales y ont été suivies pendant une saison. L'échantillonnage visait à couvrir une grande diversité de situations : type de végétation avant la mise en culture (5 classes) × années de culture (1 à 4 ans) × type de sol (rouge ou jaune) × pente. La date de semis n'était pas prise en considération faute de variabilité. Cet échantillon couvrait également la gamme de variétés, sans qu'une analyse de leur impact ne soit envisagée, la plupart des paysans adaptant la variété à l'état des parcelles. Des analyses chimiques (pH, Al, C, N, P, K, texture, etc.) ont été réalisées pour caractériser les sols des parcelles.

À la récolte, les composantes du rendement (densité de plants, de tiges et de

panicules, nombre de grains pleins par panicule, nombre de grains vides par panicule, poids de 1 000 grains, poids de paille et poids de grains) ont été mesurées dans 10 à 40 placettes de 1 m² par champ, suivant un maillage régulier (10 m x 10 m, le nombre étant fonction de la taille de la parcelle). Ainsi, un total de 700 placettes a été analysé. Pour chacune, la pente a été mesurée et des notes données (de 0 à 4) pour l'infestation des mauvaises herbes, l'intensité de l'érosion, les attaques d'insectes, les maladies, les symptômes de toxicité aluminique, etc.

L'analyse des composantes du rendement du riz [4] et les liaisons entre rendements et conditions de culture (au niveau des placettes et au niveau des parcelles) nous ont permis d'élaborer des hypothèses sur les causes de la variabilité et sur les facteurs limitant la croissance et le rendement du riz pluvial. Ces hypothèses furent testées en 1999 par des études spécifiques sur :

- l'analyse fréquentielle des précipitations de la province de Bac Kan sur la période 1980-1995 ;
- la distribution, la fréquence et l'abondance de différentes espèces d'adventices [5] ;
- l'influence des caractéristiques physiques et chimiques du sol sur l'enracinement, la croissance et le rendement des plantes. Dans deux champs (un sur chaque type de sol), les composantes du rendement, la profondeur d'enracinement, les caractéristiques chimiques et les propriétés physiques (densité apparente, porosité, résistance à la pénétration) ont été mesurées sur 6 placettes par champ ;
- l'activité biologique des sols [6] ;

– la compaction des sols par pénétration dans différentes situations, avec trois répétitions par situation.

Dans le même temps, nous avons mesuré le rendement et les caractéristiques biophysiques de 30 parcelles afin d'élargir l'échantillon de 1998 et de prendre en compte la variabilité interannuelle. Dans 18 de ces parcelles, nous avons aussi mesuré les composantes du rendement.

Analyse de la variabilité interchamps du rendement du riz pluvial

Cinq types de végétation ont été identifiés, caractérisant les agroécosystèmes et leurs usages par les troupeaux avant la mise en culture :

– type 1 : pâturage ancien, en général de plus de 20 ans de pâturage intensif. Aucun arbre, pas de forêt mais des animaux qui piétinent ;

– type 2 : jeune forêt (de moins de 10 ans), ou forêt de bambous, ou forêt de 10 à 20 ans fortement pâturée par les buffles. Peu d'arbres (moins de 5 arbres/100 m²), de petite taille (moins de 10 cm de diamètre) ;

– type 3 : forêt de 10 à 20 ans peu pâturée par les buffles, ou forêt de plus de 20 ans fortement pâturée. Quelques arbres (5 à 10 arbres/100 m²) de petite taille (10-20 cm de diamètre), peu d'arbres (moins de 5 arbres/100 m²) de taille moyenne (20 à 30 cm de diamètre) ;

– type 4 : forêt de 10 à 20 ans non pâturée, ou de plus de 20 ans modérément pâturée. Arbres (5 à 10 arbres/100 m²) de petite taille ou moyenne taille (10 à 30 cm de diamètre), quelques gros arbres (30 à 50 cm de diamètre) ;

– type 5 : forêt de plus de 20 ans, non pâturée. De nombreux arbres moyens et gros (10 à 50 cm de diamètre), quelques très gros arbres (plus de 50 cm de diamètre).

L'échantillonnage reflète la situation actuelle dans laquelle les types 2 et 3 sont dominants dans la zone d'étude, alors que la plupart des types 4 et 5 ont été

défrichés entre 1990 et 1998. Les parcelles de type 1, en général rencontrées sur les zones les moins pentues (moins de 20 degrés) sont rarement cultivées à cause de leur faible productivité liée à la forte pression des animaux les pâturant, et du fait qu'il s'agit souvent de terres communales.

La figure 1 montre que le type de végétation (les classes quantifient un état de régénération des sols) et le nombre d'années de culture ont tous deux un fort impact sur la croissance et le rendement du riz. Logiquement (les terres les plus en pente sont utilisées en dernier par les paysans), le type de végétation avant défriche est corrélé à la pente. Toutes les forêts de type 4 se trouvent sur fortes pentes de 30 degrés en moyenne, alors que les forêts de type 3 sont sur des pentes de 25 degrés environ et celles de type 2 sur des pentes de « seulement » 20 degrés en moyenne. Seules les parcelles les plus anciennement cultivées indiquent que la pente influence (négativement) le rendement, tout particulièrement

pour les pentes supérieures à 25-30 degrés où l'érosion est forte.

La composition floristique de la zone d'étude est donnée par Stevoux *et al.* [5]. La figure 2 montre que les adventices ont un impact important sur le rendement et que l'infestation est corrélée au type de végétation avant mise en culture : les parcelles sur vieilles forêts (types 4 et 5) ont une pression de mauvaises herbes inférieure à celles qui se trouvent sur forêts pauvres (types 1 à 3).

Mis à part le choix des variétés et le temps consacré au désherbage, les pratiques agricoles sont relativement homogènes dans la région d'étude. La grande majorité des paysans n'utilise ni engrais, ni herbicide, ni insecticide. Un effet significatif de la fertilisation n'a pu être montré que dans 20 % des parcelles d'essais - celles en première année de culture [7], ce qui indique que, les années suivantes, d'autres facteurs (enracinement, porosité, utilisation de l'eau, etc.) deviennent fortement limitants.

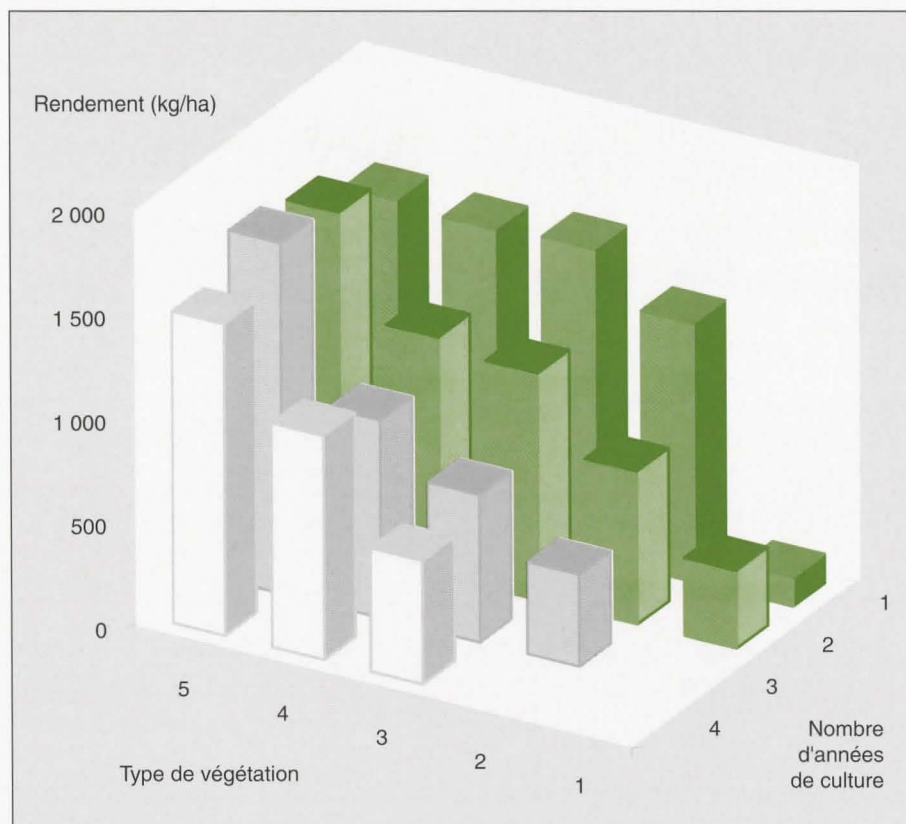


Figure 1. Rendement moyen (kg/ha) en fonction du type de végétation précédant la défriche et du nombre d'années de culture. Les années manquantes sur les types 1 et 2 sont dues à l'abandon des parcelles par les paysans.

Figure 1. Average yield (kg/ha) as a function of preceding vegetation type and number of years of cultivation.

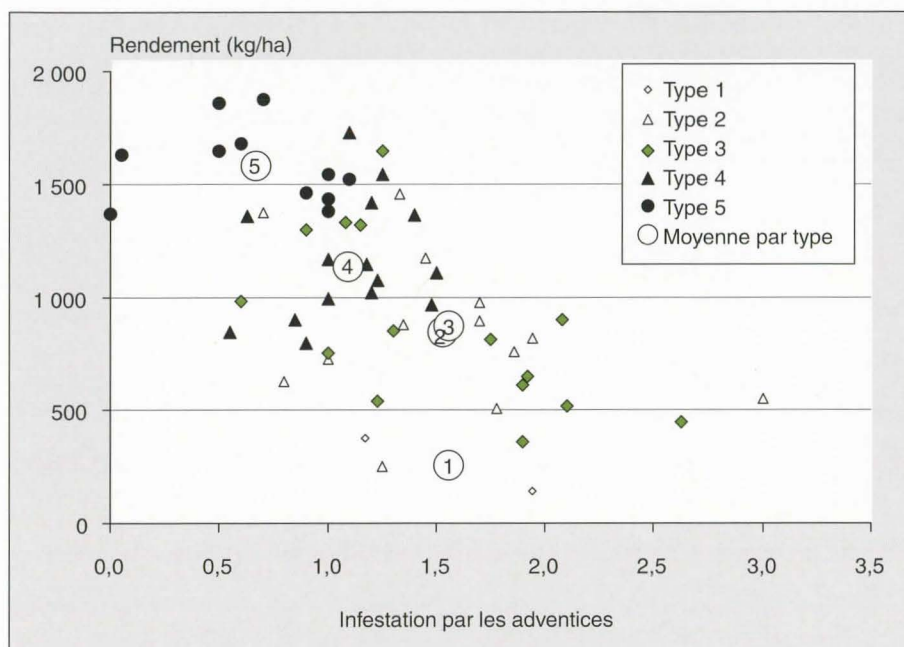


Figure 2. Rendement (kg/ha) en fonction de l'infestation moyenne des parcelles à la récolte. $n = 67$. ; les symboles indiquent le type de végétation précédant la mise en culture ; les valeurs entourées d'un cercle indiquent la valeur moyenne pour chaque type de végétation.

Figure 2. Yield (kg/ha) as a function of average weed infestation at harvesting.

Analyse de la variabilité intrachamps du rendement du riz pluvial

Le *tableau 1* montre une forte acidité, une teneur élevée en aluminium et une faible disponibilité en azote et phosphore dans ces sols. Cependant, de fortes variations existent au sein même d'une parcelle, certaines d'entre elles expliquant les variations de rendement du riz pluvial. La structure du sol, tout particulièrement dans les premiers centimètres, a un effet très marqué sur le rendement du riz (*figure 3*). Des corrélations ont également été montrées entre la porosité ou la densité apparente (dans l'horizon 0-10 cm) et le rendement du riz. La dégradation du sol sous l'effet conjugué de l'érosion et du pâturage par les animaux, et en particulier sa déstructuration et la baisse de porosité sont des facteurs clés à la compréhension des rendements obtenus dans cet environnement. Cette déstructuration du sol, associée à des caractéristiques chimiques dé-

favorables (sur ces sols acides (pH_{KCl} entre 3,7 et 4,3), la teneur en aluminium échangeable est très élevée, souvent au dessus de 4 meq/100 g, avec un taux de

saturation en aluminium souvent supérieur à 90 % et donc un risque de toxicité élevé), aggravées par la perte en matière organique conduisent à un enracinement superficiel et, en conséquence, à une mauvaise utilisation de l'eau qui s'en ressent sur le rendement. Ainsi, le rendement du riz pluvial est corrélé au développement racinaire (*figure 4*), qui peut avoir un très fort impact comme dans la parcelle 2 (gain de plus de 50 kg/ha en moyenne par cm d'enracinement en profondeur). La mauvaise croissance du riz le rend d'autant plus sensible aux adventices qui peuvent diviser le rendement par 5 (*figure 5*) dans ces conditions.

Processus agronomiques et facteurs déterminant le rendement du riz pluvial

Entre champs, les caractéristiques principales des parcelles expliquant le rendement du riz sont le type de végétation précédant la mise en culture, et le nombre

Tableau 1. Caractéristiques des champs 1 et 2 (moyenne de 6 répétitions par champ).

Table 1. Field 1 and field 2 characteristics (average of 6 replications per field).

	Champ 1	Champ 2
Type de sol	Ferrallitique jaune	Ferrallitique rouge
Type de végétation précédant la mise en culture	Forêt de 15 ans modérément pâturée par les buffles (type 3)	Forêt de 25 ans modérément pâturée par les buffles (type 4)
Nombre d'années de culture	3	4
Pente moyenne (degrés)	21,7	30,3
$pH_{(KCl)}$ moyen	3,78	3,93
CEC moyenne (meq/100 g)	16,8	15,6
Aluminium échangeable moyen (meq/100 g)	4,55	2,96
N moyen (%)	0,27	0,28
P_2O_5 moyen (%)	0,08	0,08
K_2O moyen (%)	1,12	0,29
Teneur en matière organique moyenne (%)	5,57	4,72
Porosité moyenne (%)	70,2	67,5
Densité apparente moyenne	0,78	0,91
Teneur en argile moyenne (%)	40,3	35,4
Rendement moyen (kg/ha)	545	1 010

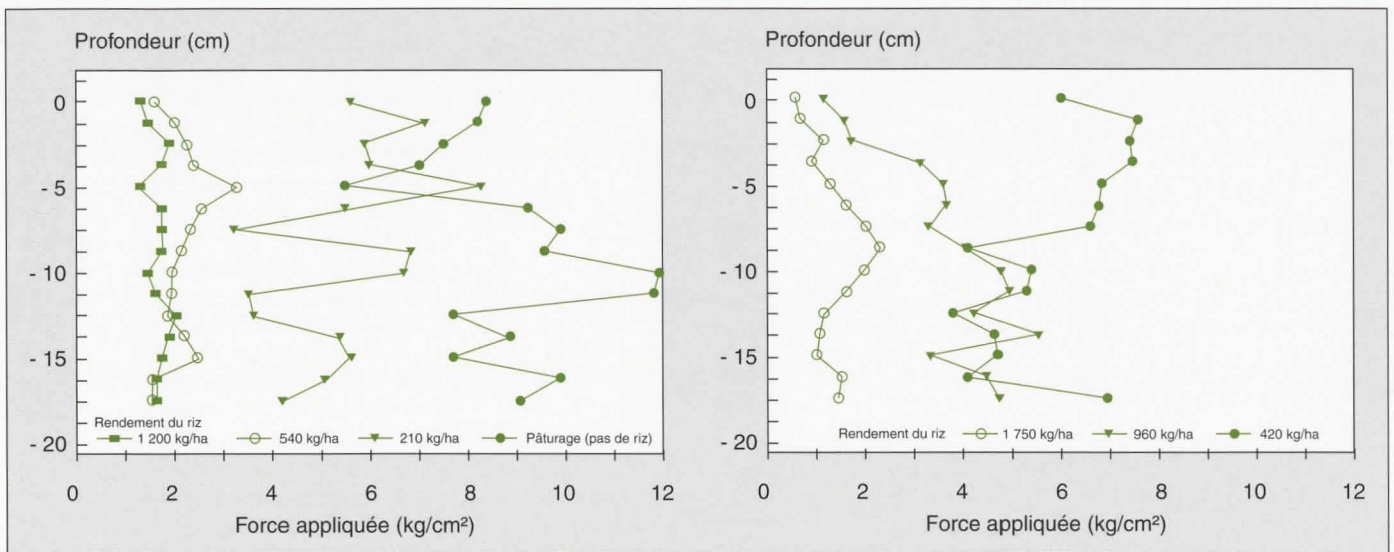


Figure 3. Impact de la compaction du sol (pression en kg/cm² requise pour la pénétration dans le sol à la profondeur indiquée) sur le rendement du riz. Moyenne de deux répétitions. 3a : champ 1 ; 3b : champ 2.

Figure 3. Impact of soil compaction (pressure in kg/cm² required to penetrate soil at various depths) on rice yield (kg/ha). Average of 2 replications. 3a : Field 1 ; 3b : Field 2.

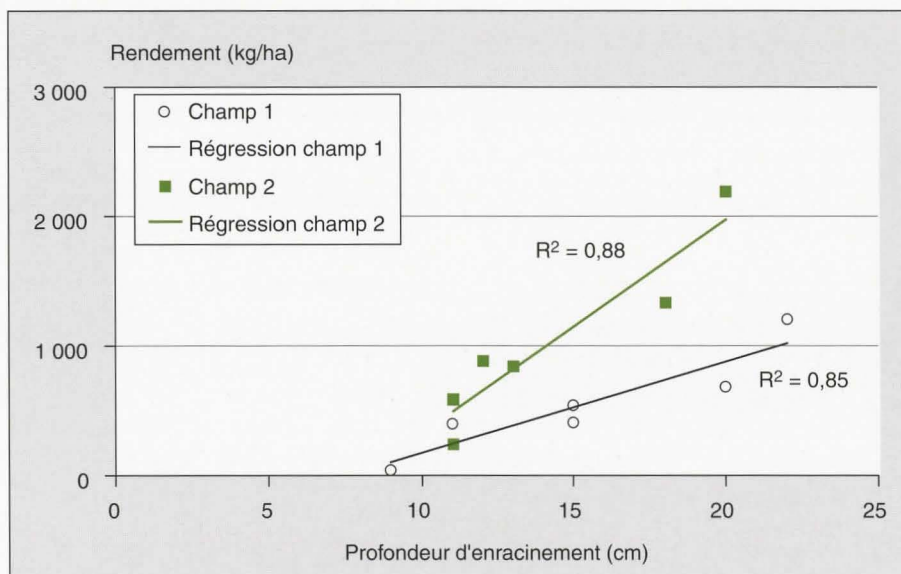


Figure 4. Rendement du riz (kg/ha) en fonction de la profondeur d'enracinement (cm).

Figure 4. Rice yield (kg/ha) as a function of rooting depth (cm).

d'années de culture. En intraparcellaire, le rendement du riz s'explique largement par la structure du sol et partiellement par les caractéristiques chimiques, en liaison avec l'activité biologique. Tous ces critères sont, à différentes échelles, des indicateurs de l'état de dégradation/régénération des sols. Au cours des cycles d'utilisation des sols, des périodes de régénération plus ou moins intensives des sols sous couvert forestier alternent

avec des périodes de rapide dégradation sous culture.

Forêt et régénération du sol

La régénération de la forêt et des sols se produit pendant les périodes de jachère/recru forestier (encore présents dans la zone, même s'ils sont limités par la pression des animaux) au cours desquelles divers processus conduisent :

- au développement d'une structure de sol légère, et à l'accroissement de la porosité par l'action des racines, des micro-organismes (champignons, etc.) et de la méso- et macrofaune (insectes, vers de terre, etc.) ;
- à une augmentation du taux de matière organique par accumulation et décomposition de la biomasse végétale produite par les arbres ;
- au recyclage des éléments absorbés en profondeur par les racines des arbres.

Cependant, l'intensité et la durée de ces périodes de régénération des sols varient dans l'espace et dans le temps, et on observe :

- la réduction des périodes sous jachère/forêt liée à l'augmentation de la densité de population qui a doublé dans la zone d'étude entre 1984 et 1998 (respectivement 22 et 47 hab/km²) et en conséquence la réduction des durées de culture des parcelles (la faible régénération ne leur permettant pas de supporter longtemps des rendements rentabilisant le travail), et l'accélération des cycles de culture/jachère ;

- l'augmentation de la pression exercée par les buffles sur la forêt liée à un intérêt croissant des paysans pour l'élevage de gros bétail du fait d'opportunités de commercialisation croissantes [8]. Dans la commune de Ngoc Phai, avec plus de 30 buffles ou vaches par km² de surface totale, des zones de pâturage insuffisantes

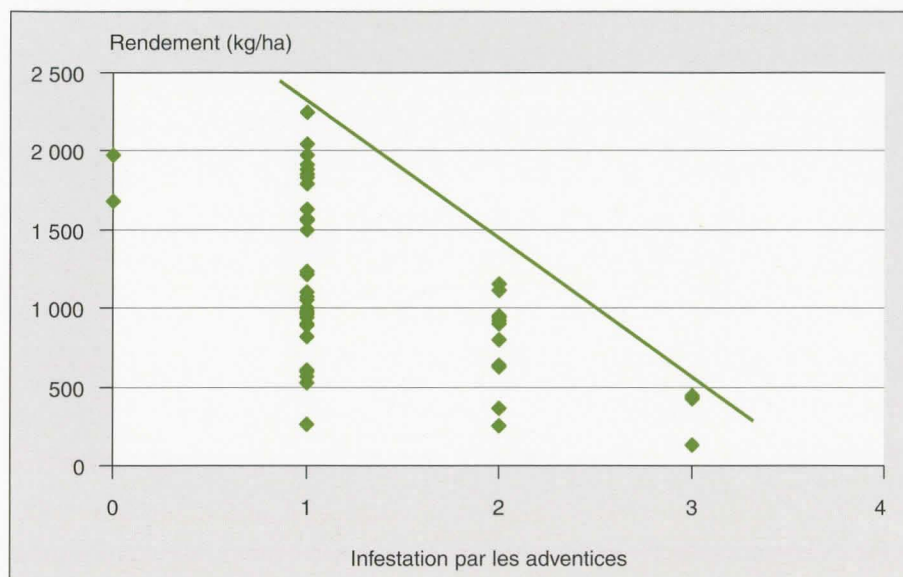


Figure 5. Rendement du riz (kg/ha) en fonction de l'infestation par les adventices à la récolte dans le champ 2.

$n = 33$; la ligne indique la courbe enveloppe de la limitation du rendement par les mauvaises herbes.

Figure 5. Rice yield (kg/ha) as a function of weed infestation at harvesting in field 2. $n = 33$.

et à faible productivité, et les pratiques de vaine pâture, la plus grande partie de l'alimentation du bétail est extraite des forêts. La consommation et l'exportation de la biomasse végétale, la destruction des arbres et la compaction des sols par le piétinement en limitent la régénération. Les différences de compaction du sol

entre les forêts de type 2 et le pâturage (type 1) présentées sur la *figure 6* reflètent ainsi l'impact du piétinement des buffles sur la structure des sols. Ainsi, le développement de l'élevage de gros bétail, alternative actuelle des paysans aux baisses de rendement des cultures, engendre une dégradation des sols et accé-

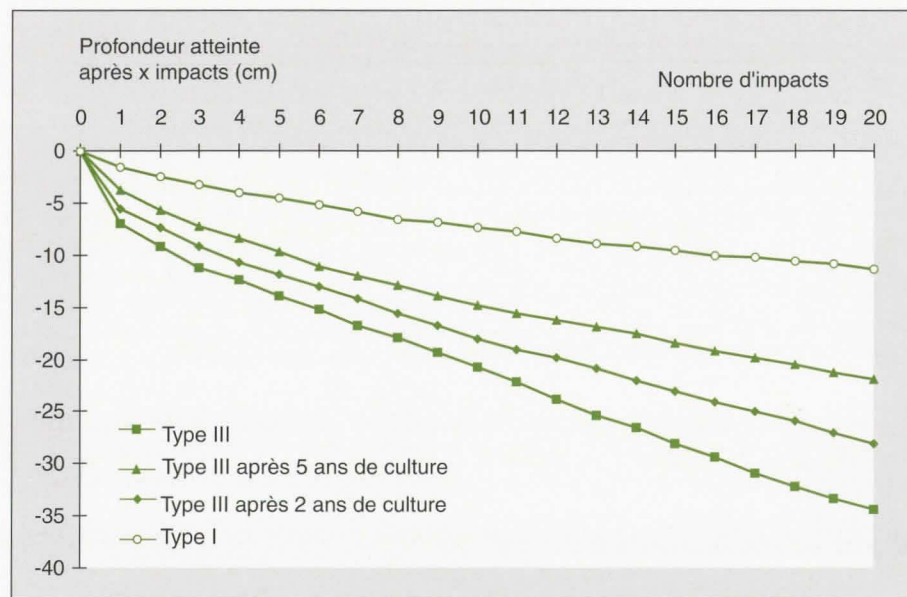


Figure 6. Compaction du sol mesurée par pénétrométrie sur sols ferrallitiques rouges : profondeur (cm) atteinte après x lâchés (poids de 1 kg lâché d'une hauteur de 1 m, surface de pénétration de $0,78 \text{ cm}^2$). Moyenne de trois répétitions.

Figure 6. Soil compaction measured by penetrometry on red ferralitic soils : Depth (cm) reached after x drops (1 kg dropped from a height of 1 m, penetration surface of $0,78 \text{ cm}^2$). Average of 3 replications.

lère donc les processus conduisant à la baisse des rendements ;

- une structuration spatiale liée à l'action des buffles qui pâturent de préférence sur les zones les moins pentues et commencent à brouter en partant des zones de pâturages ou du fond des vallées. Ainsi, l'impact sur la forêt est plus fort dans le bas des toposéquences et décroît en remontant vers les sommets, avec des voies de passage préférentielles *via* les zones les moins pentues.

- une modification des espèces forestières au fil des cycles d'abattis-brûlis avec un remplacement progressif des arbres par des bambous.

Dès la mise en culture, on observe une dégradation rapide des sols avec érosion, pertes importantes en matière organique, forte baisse de l'activité biologique et de la biodiversité [6] et dégradation physique et chimique entraînant une rapide baisse des rendements.

Efficacité de l'utilisation de l'eau

Sur un sol mal structuré le ruissellement est fort, l'infiltration limitée, et l'enracinement reste superficiel, ce qui conduit à une réserve utile en eau extrêmement limitée. Les observations aux champs réalisées indiquent qu'après 4 à 5 jours sans pluies, le riz pluvial commence à souffrir de stress hydrique. De telles périodes de plus de 5 jours consécutifs avec une évaporation supérieure aux précipitations sont fréquentes : 7 fois en 1998 et 8 fois en 1999 entre juin (semis) et octobre (récolte).

Une analyse fréquentielle des précipitations (1980 à 1995) sur la province de Bac Kan montre aussi que le risque de sécheresse est élevé après le 15 septembre, ce qui correspond à la période sensible de floraison du riz. En 1999, par exemple, une période de 17 jours consécutifs sans pluie a été observée en septembre. Cette sécheresse à la floraison explique, avec les dégâts d'insectes et la faible croissance générale des plantes, le fort pourcentage de grains vides : 32 % en moyenne, mais seulement 25 % pour les sols les mieux structurés (type 5) contre 36 % sur les sols mal structurés (type 2).

Adventices

La disponibilité en eau des plants de riz est aussi probablement réduite par les adventices. À tous les stades végétatifs et reproductifs, la compétition entre riz plu-

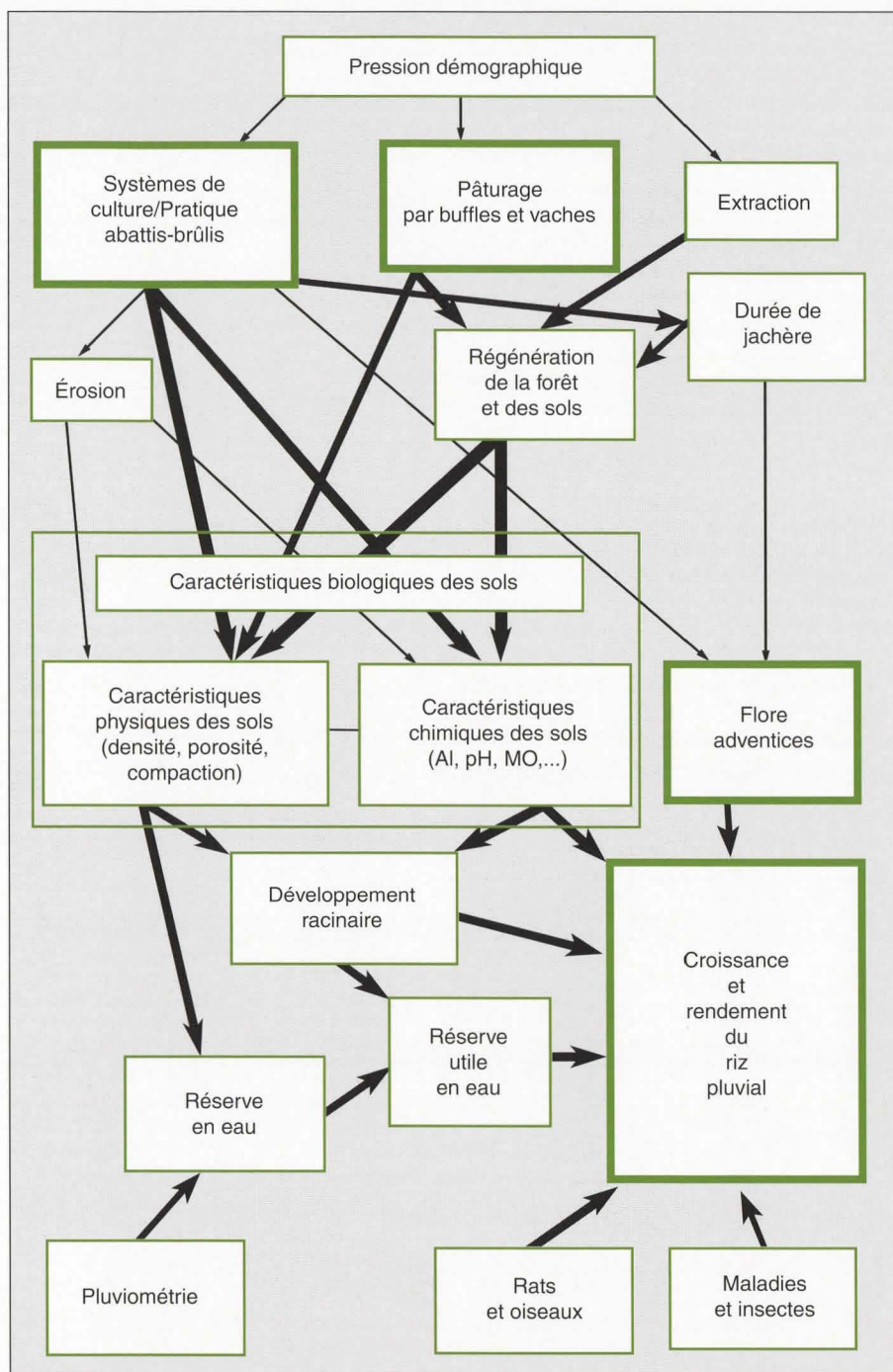


Figure 7. Synthèse des problèmes agronomiques et des facteurs limitant la croissance et le rendement du riz pluvial dans le district de Cho Don

Figure 7. Synthesis of agronomic problems and factors limiting upland rice growth and yield in Cho Don district.

vial et adventices a un impact négatif sur la production. Ainsi, dans la zone d'étude, le taux de tallage, la production de panicules et le remplissage des grains est lié à l'infestation par les adventices. La concurrence peut être extrêmement forte, et le

désherbage représente plus de la moitié des temps de travaux [7]. C'est une des raisons principales d'abandon des parcelles, puisque 100 jours-hommes/ha ne sont pas toujours suffisants pour contrôler proprement les adventices [5].

Synthèse

La *figure 7* présente une synthèse des facteurs et des processus majeurs en interaction, qui expliquent la croissance et le rendement du riz pluvial dans les systèmes traditionnels d'abattis-brûlis, avec en particulier :

- une faible efficacité de l'utilisation de l'eau, due à un fort ruissellement, une mauvaise structure du sol (compaction, faible porosité), et un enracinement superficiel, situation engendrée par la chute de l'activité biologique sous l'effet des pratiques culturales [6] ;
- la compétition des adventices.

Ces deux problèmes majeurs sont moins importants la première année après défriche, en particulier quand la forêt a pu suffisamment se développer, restructurant ainsi les sols et réduisant les stocks semenciers des adventices [9]. Avec le temps et la culture, l'érosion agit et les changements de conditions favorisent le développement des adventices et la compaction des sols.

Discussion

Corrélations entre facteurs et interactions entre processus

La croissance et le rendement du riz pluvial sont le résultat d'interactions entre divers processus impliquant des facteurs multiples. Dans les systèmes traditionnels d'abattis-brûlis, des corrélations entre facteurs ont été observées et/ou sont bien documentées, comme la corrélation entre aluminium échangeable, matière organique et pH_{KCl} [10], et la corrélation entre densité apparente et matière organique [11]. La dynamique des adventices dans de tels systèmes est aussi bien connue [9].

Ces processus interagissent, mais ont souvent des structures spatiales et des niveaux différents, et n'agissent pas forcément simultanément ni dans le même sens. Par exemple, la régénération des sols est en général plus intense et rapide dans le haut des toposéquences et sur les fortes pentes où la pression exercée par les buffles est limitée alors qu'au contraire, l'érosion conduit à l'accumulation de sol dans le bas des toposéquences et/ou sur les faibles pentes.

Cette multiplicité de facteurs et d'interactions, les différences dans leur application dans l'espace et dans le temps, et le fort impact que ces facteurs ont à tous les stades sur le développement du riz pluvial conduisent souvent à des situations extrêmement hétérogènes, voire même chaotiques, et à des rendements très variables.

Hierarchisation des facteurs

Dans la zone d'étude, il a été montré que le poids relatif des différents facteurs influençant le rendement varie fortement, non seulement entre parcelles, mais aussi à l'intérieur même d'une parcelle. Cette forte variabilité rend difficile une hiérarchisation de ces facteurs. Il peut seulement être constaté que certains facteurs, comme les caractéristiques biologiques, physiques et chimiques des sols et la pression des adventices sont souvent prépondérants, et ils le sont d'autant plus que la régénération des sols a été moindre (types de végétation 1 à 3) et que les processus de dégradation ont eu le temps d'agir (3 et 4 années de culture).

Conclusion

Cette étude ayant été menée dans un site choisi pour sa représentativité du district de Cho Don et de la Province de Bac Kan, les résultats obtenus localement sont

extrapolables à la plupart des situations de culture du riz pluvial dans la province. Elle a fourni des informations indispensables sur les manières possibles d'améliorer ces systèmes de culture ou de développer des alternatives durables. La priorité de la recherche doit clairement être donnée au développement de systèmes permettant d'améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau et facilitant le contrôle des adventices. Tant que les qualités physiques et chimiques des sols n'auront pas été améliorées et protégées durablement, en particulier en favorisant le développement de l'activité biologique, les sujets de recherche « classiques » tels que fertilisation (dans les conditions actuelles les engrais sont lessivés ou emportés par l'érosion, ou bénéficient en premier lieu aux adventices) ou amélioration variétale (les variétés améliorées ne peuvent pas exprimer leur potentiel) auront peu d'impact. Ces systèmes traditionnels d'abattis-brûlis sont dans une impasse dans les conditions actuelles de dégradation des sols et de la forêt et de forte pression de population et d'animaux. ■

Références

1. Pandey S, Dang Van Minh. A socioeconomic analysis of rice production systems in the uplands of northern Vietnam. *Agriculture Ecosystems and Environment* 1998 ; 70 : 249-58.
2. Jamieson N, Le Trong Cuc, Rambo AT. *The development crisis in Vietnam's mountains*. Honolulu : East-West Center, 1998 ; 32 p.
3. Bal P, Mellac M, Duong Duc Vinh. Évolutions récentes des systèmes de production dans une

zone de montagne du Nord-Vietnam, district de Cho Don, province de Bac Kan. *Cah Agric* 1997 ; 6 : 183-9.

4. Yoshida S. *Fundamentals of rice crop science*. Los Banos (The Philippines) : International Rice Research Institute (IRRI), 1981 ; 269 p.

5. Stevoux V, Le Bourgeois T, Husson O. *Caractérisation des enherbements dans les systèmes de culture sur pente au Nord-Vietnam*. Onzième colloque international sur la biologie des mauvaises herbes, Dijon, 2000 : 143-50.

6. Husson O, Ha Dinh Tuan, Boyer J, et al. *Impacts of cropping practices and direct seeding on permanent vegetal cover (DSPVC) techniques on soil biological activity in northern Vietnam*. Second World Congress on Conservation Agriculture, Iguassu Falls, Parana, Brazil, 2003 : 460-3.

7. Naudin K. *Étude d'un système de culture de défriche-brûlis à base de riz pluvial dans le village de Ban Cuon, Vietnam*. Mémoire Cnearc. Montpellier : Centre national d'études agronomiques des régions chaudes (Cnearc), 1999 ; 109 p.

8. Tran Quoc Hoa. *Le processus de différenciation des exploitations agricoles dans une commune du Nord Vietnam : commune de Ngoc Phai, district de Cho Don, province de Bac Kan*. Mémoire de stage. Montpellier : Centre national d'études agronomiques des régions chaudes (Cnearc), 1999 ; 164 p.

9. De Rouw A. *Rice, weeds and shifting cultivation in a tropical rain forest. A study of vegetation dynamics*. PhD Thesis. Wageningen (The Netherlands) : Wageningen Agricultural University, 1991 ; 263 p.

10. Pionke HB, Corey RB. Relations between acidic aluminum and soil pH, clay and organic matter. *Soil Sci Soc Am Proc* 1967 ; 31 : 749-52.

12. Da Silva AP, Kay BD, Perfect E. Management versus inherent soil properties effects on bulk density and relative compaction. *Soil Tillage Res* 1997 ; 44 : 81-93.